



# REUNIÓN SIRGAS 2010

## 11-12 NOVIEMBRE DE 2010 LIMA—PERÚ



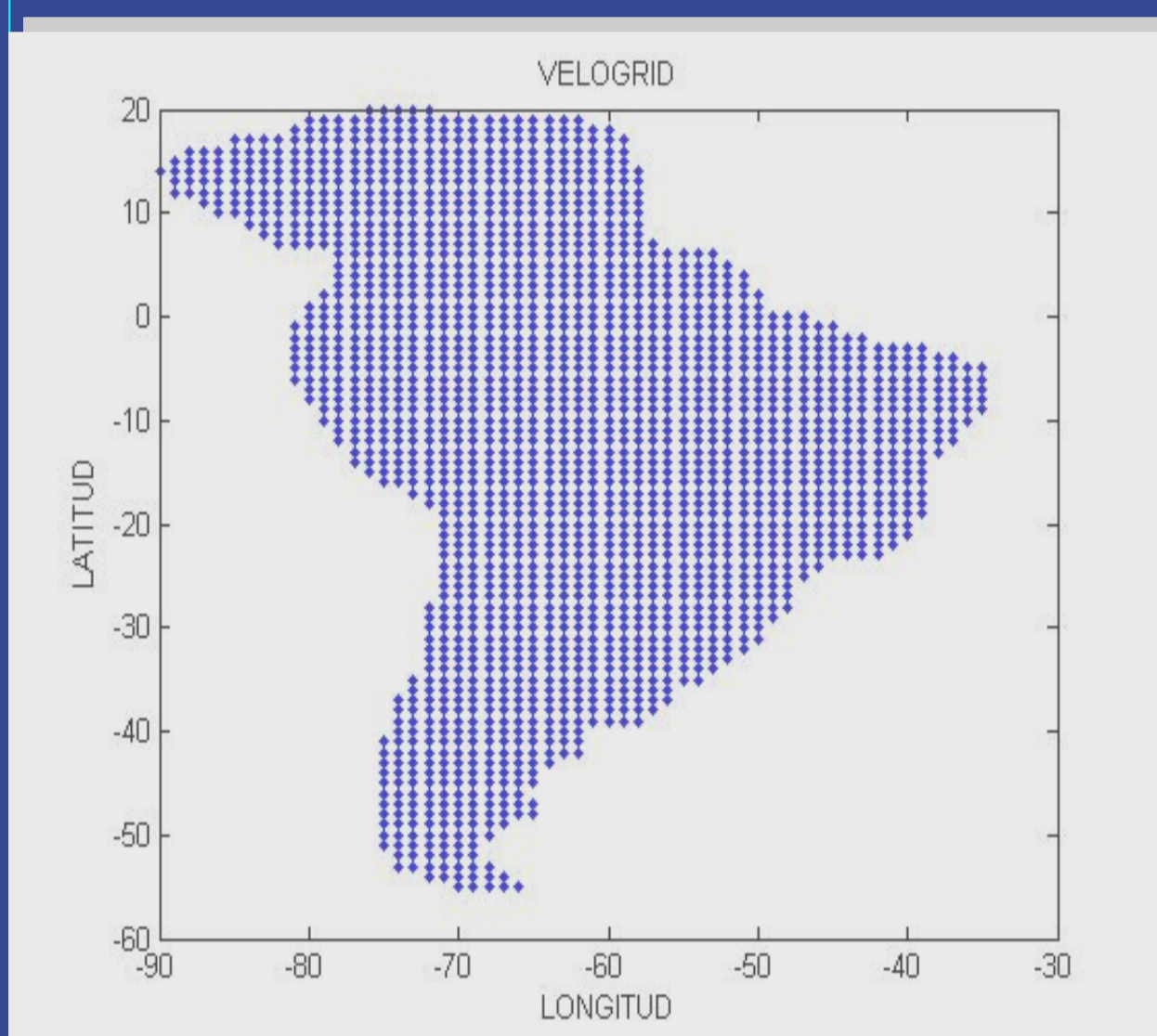
Alfonso R. Tierra C.

Centro de Investigaciones Científicas. Centro de Investigaciones Espaciales. Universidad ESPE. Sangolquí-Ecuador  
atierra@espe.edu.ec

### MODELO DE VELOCIDADES USANDO UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL

**RESÚMEN:** El presente trabajo, tiene como objetivo mostrar una nueva alternativa para modelar las velocidades de la corteza terrestre, es por esta razón que se propone utilizar técnicas de inteligencia artificial para aplicaciones geodésicas, como es el caso de una red neuronal artificial-RNA. Para la obtención del Modelo de Velocidades por medio de una RNA, se entrenó una arquitectura neuronal del tipo Multicapa compuesta por una capa de entrada, una capa oculta, y una capa de salida. La técnica de aprendizaje utilizada fue la supervisada, para lo cual se contó con 131 vértices pertenecientes a la red SIRGAS-CON (SIR09P01); de los cuales, se utilizaron 117 vértices para la fase de entrenamiento, 10 vértices para la fase de la evaluación del aprendizaje, y 4 vértices localizados en el Ecuador para evaluar la predicción (interpolación) de la RNA y determinar su performance de generalización. La RNA multicapa entrenada fue una [3 10 3]; es decir, en la capa de entrada estuvo constituido por 3 vectores cuyos valores fueron las coordenadas X,Y,Z de los vértices; la capa oculta consistió de 10 neuronas, y la capa de salida estuvo constituido por 3 neuronas cuyas salidas fueron las respectivas velocidades  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  de los vértices utilizados en la capa de entrada. En los mismos 4 vértices ubicados en el Ecuador, se calcularon las velocidades respectivas utilizando el modelo VEMOS2009. Los resultados obtenidos en los 4 vértices, tanto del modelo VEMOS2009 y con la RNA, se calcularon las diferencias respecto a los valores de velocidades verdaderos disponibles. Los primeros resultados indican que, con la RNA multicapa se obtienen mejores resultados que con el VEMOS2009.

#### VELOGRID



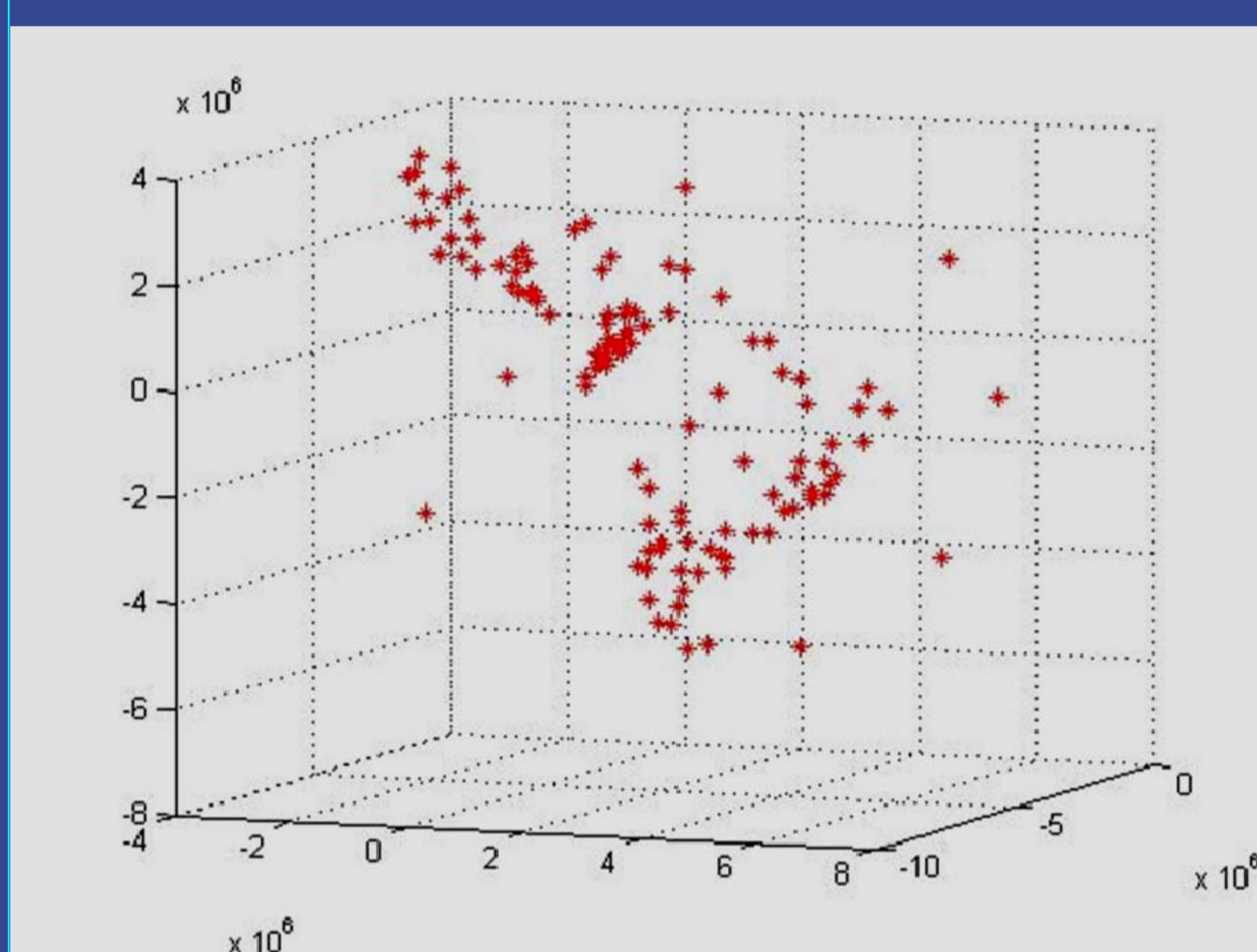
Grid construido con el modelo VEMOS 2009. Este modelo fue obtenido a partir de 496 estaciones de varios proyectos mediante la aplicación de Elementos Finitos y por Mínimos Cuadrados Colocación (Drewes&Heidbach, 2009)

#### MAPA DE EMC EN EL ECUADOR



El mapa muestra las 5 EMC usadas para evaluar la generalización de la RNAM entrenada, así como, las principales fallas, pliegues, volcanes, y los sismos ocurridos desde 1995 hasta 2010 con magnitud mayor a 5 en la escala de Richter.

#### ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO-EMC



139 EMC del Proyecto SIRGAS ubicadas principalmente en América Central y en la UNASUR

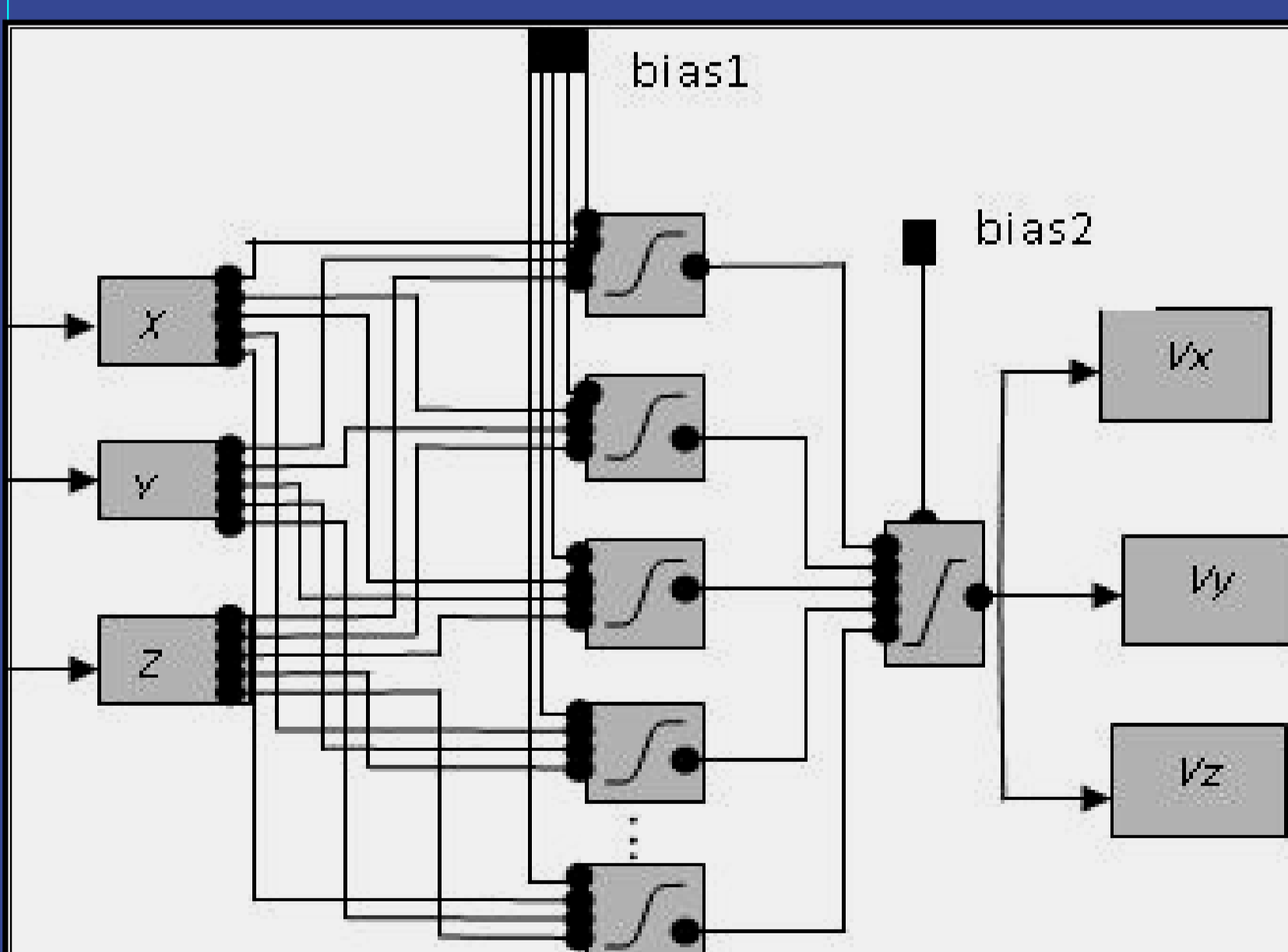
#### RESULTADOS

Tabla 1. Velocidades obtenidas con VEMOS2009 y RNAM [3 10 3]

EMC	Época W1520	VELOC. REALES			VELOC. VEMOS2009			VELOC. RNA MULTICAPA (m/a)		
		$V_x$	$V_y$	$V_z$	VX	VY	VZ	VX	VY	VZ
Guayaquil (GYEC)	2009,15	-0,0002	0,0096	0,0114	0,0064	0,0008	0,0082	-0,0003	0,0038	0,0083
Cuenca (CUEC)	2009,15	-0,0022	0,0062	0,0061	0,0044	0,0005	0,0072	-0,0018	0,0035	0,008
Portoviejo (PTEC)	2009,15	0,0023	0,0048	0,0060	0,0104	0,0016	0,0106	0,0011	0,0044	0,0089
Loja (LJEC)	2009,15	-0,0035	0,0026	0,0059	0,002	-0,0001	0,0068	-0,0017	0,002	0,0071

#### RED NEURONAL ARTIFICIAL MULTICAPA [3 10 3]

#### FEEDFORWARD-BACKPROPAGATION



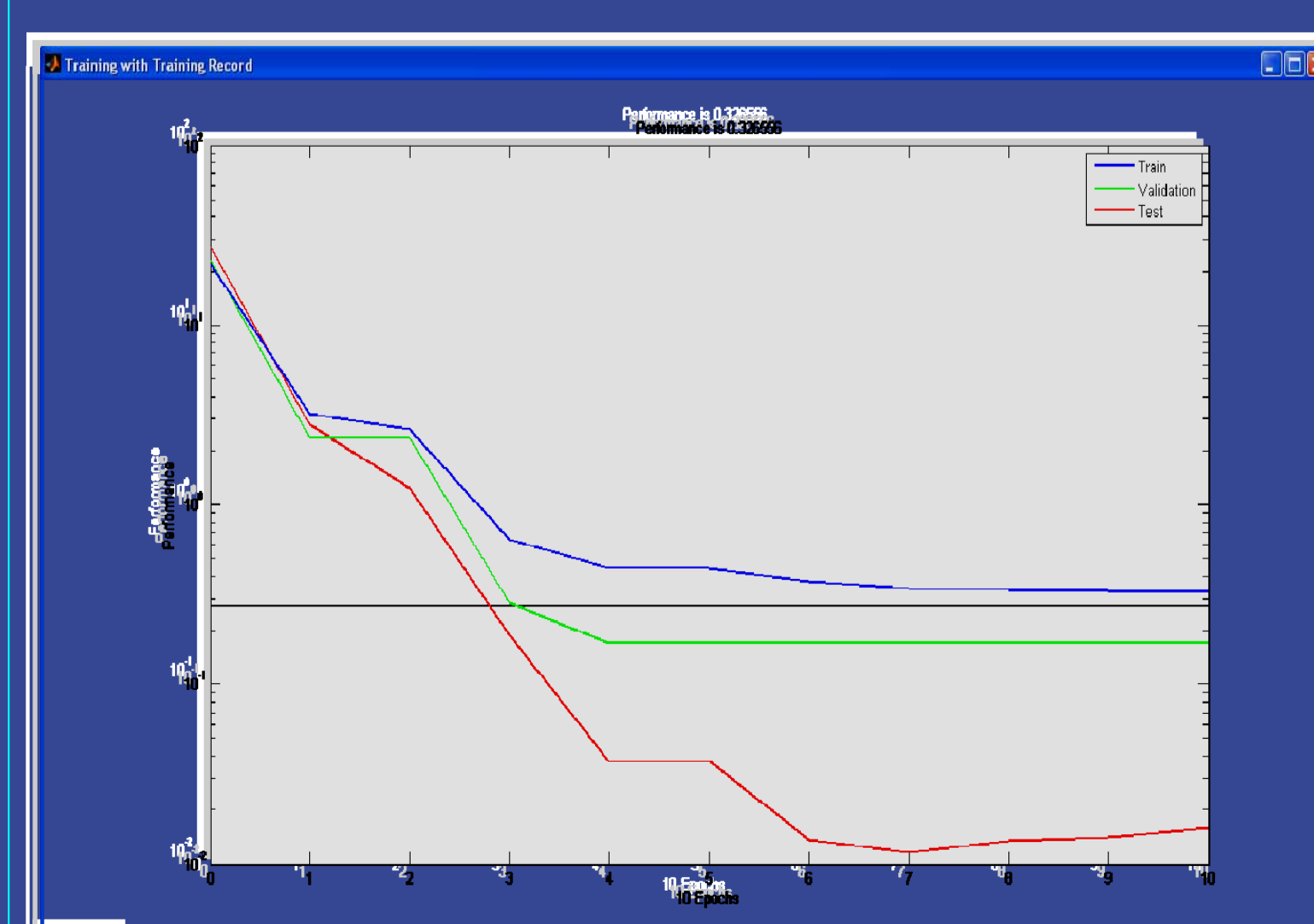
$X, Y, Z$  Son las coordenadas cartesianas de las EMC del proyecto SIRGAS

$V_x, V_y, V_z$  Son las velocidades respectivas de las EMC

Tabla 2. Diferencias de las velocidades del VEMOS 2009 y RNAM [3 10 3] respecto a las "reales"

EMC	DIF. VEMOS 2009 (mm/a)			Error (mm/a)	DIF. RNA MULTICAPA (mm/a)			Error (mm/a)
	$V_x$	$V_y$	$V_z$		$V_x$	$V_y$	$V_z$	
Guayaquil (GYEC)	6,6	-8,8	-3,2	11,5	-0,1	-5,8	-3,1	6,6
Cuenca (CUEC)	6,6	-5,7	1,1	8,8	0,4	-2,7	1,9	3,3
Portoviejo (PTEC)	8,1	-3,2	4,6	9,8	-1,2	0,4	2,9	3,2
Loja (LJEC)	5,5	-2,7	0,9	6,2	1,8	-0,6	1,2	2,2
<b>Media Aritmética</b>	<b>6,7</b>	<b>-5,1</b>	<b>0,9</b>	<b>9,1</b>	<b>0,2</b>	<b>-2,4</b>	<b>0,7</b>	<b>3,8</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>1,1</b>	<b>2,8</b>	<b>3,2</b>	<b>2,2</b>	<b>1,2</b>	<b>2,5</b>	<b>2,6</b>	<b>1,9</b>

#### PROCESO DE ENTRENAMIENTO SUPERVISADA DE LA RNAM



- 117 EMC para la fase de entrenamiento
- 10 EMC para evaluación del aprendizaje
- 5 EMC para la predicción (Interpolación)

#### CONCLUSIONES

- El modelo de velocidades con la RNA Multicapa ha mejorado el 100% en la interpolación de las velocidades respecto al modelo VEMOS2009 en el área de prueba.
- Con menos estaciones se obtienen resultados mejores que el VEMOS2009

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Drewes, H. and O. Heidbach (2009). The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). IAG Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth". Buenos Aires, August 31 to September 4, 2009. IAG Symposia.

Tierra, A.; De Freitas, S.; Guevara, P. Using Artificial Neural Network to Transformation of Coordinates from PSAD56 to SIRGAS95. International Association of Geodesy Symposia. Vol. 134, p.173-178. DOI:10.1007/978-3-642-00860-3\_27. Springer-Verlag, Berlin, 2009



